



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**ROBOTIZOVANÉ PRACOVÍŠTĚ SE STROJEM S
PARALELNÍ KINEMATICKOU STRUKTUROU (PKS)**

ROBOTIZED WORKPLACE WITH PARALLEL KINEMATIC STRUCTURE MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Lorenc

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Tomáš Lorenc
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Robotizované pracoviště se strojem s paralelní kinematickou strukturou (PKS)

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je vypracovat projektové studie dvou robotizovaných technologických pracovišť, kdy základními stavebními prvky RTP budou stroje s PKS, jenž budou obsluhované pro daný a konkrétní účel a použití průmyslovým robotem s vhodnou kinematickou strukturou. Obě varianty je nutné vyhodnotit z hlediska technicko-ekonomické úspěšnosti jedné či druhé varianty a rovněž je zhodnotit z hlediska nákladů, nutných na pořízení celého RTP, z hlediska návratnosti vložených investic s uvážením doby provozu RTP na jednu nebo dvě směny po 8 hodinách činnosti s využitím na cca 80% výkon nebo využití pracovní doby.

Cíle bakalářské práce:

Popis současného stavu v oblasti projekčně – konstrukčního řešení robotizovaných technologických pracovišť (RTP), popis známých řešení, vlastnosti, charakteristiky, zásady projekce.

Analýza současného stavu v oblasti strojů s PKS, jejich možnosti uplatnění v praxi (obrábění, atd.).

Systémový rozbor problematiky.

Návrh RTP se strojem, majícím PKS. Výběr vhodného stroje s PKS, robotu nebo manipulátoru, periferních zařízení, řídicího systému. Návrh – projekt vypracuje ve dvou variantách technického řešení, včetně výkresové dokumentace (3D pohledy, nárys a půdorys RTP, příp. simulace pohybů robotu, čas manipulačního nebo pracovního cyklu, atd.).

Obě navržené varianty řešení popište a proveďte zhodnocení jejich technicko – ekonomické úrovně metodou multikriteriálního hodnocení (bázickou).

Vyhodnocení přínosu nového RTP před jeho realizací v praxi z hlediska použití metody efektivního hodnocení investic, s uvedením doby návratnosti vložených peněžních prostředků.

Závěr a kritické zhodnocení vlastního díla, doporučení pro další rozvoj.

Seznam doporučené literatury:

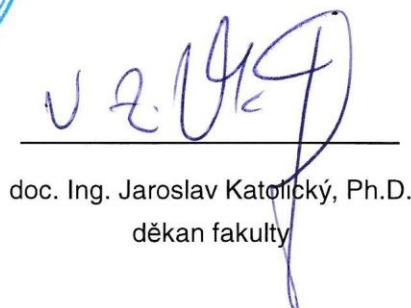
KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 25. 10. 2018



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem práce je návrh dvou variant robotizovaných technologických pracovišť s robotem s paralelní kinematickou strukturou a následný výběr vhodnější varianty. Dále práce pojednává o současném stavu robotizovaných technologických pracovišť a popisuje stroje s paralelní kinematickou strukturou.

ABSTRACT

The aim of the thesis is to design two variants of robotized technological workplaces with a robot with parallel kinematic structure and subsequent selection of a more suitable variant. The thesis then deals with current state of robotized technological workplaces and describes machines with parallel kinematic structure.

KLÍČOVÁ SLOVA

Paralelní kinematická struktura, robotizované technologické pracoviště, průmyslový robot

KEYWORDS

Parallel kinematic structure, robotized technological workplace, industrial robot

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LORENC, Tomáš. *Robotizované pracoviště se strojem s paralelní kinematickou strukturou (PKS)*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116964>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za vedení v průběhu psaní bakalářské práce a ochotu, se kterou se věnoval mým dotazům a problémům. Dále děkuji ústavu výrobních strojů, systémů a robotů za umožnění práce s programy, potřebnými k vypracování práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.5.2019

.....

Lorenc Tomáš

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	ROBOTIZOVANÉ TECHNOLOGICKÉ PRACOVIŠTĚ	17
2.1	Současný stav RTP	17
2.1.1	Výrobní oblasti	17
2.1.2	Nevýrobní oblasti	19
2.2	Budoucnost robotizovaných pracovišť	20
2.3	Známa řešení pracovišť	20
2.3.1	Obráběcí pracoviště	20
2.3.2	Lakovací linka	21
2.3.3	Svařovací pracoviště	21
2.3.4	Dopravníková linka a paletizace	21
3	ROBOTY S PARALELNÍ KINEMATICKOU STRUKTUROU	23
3.1	Definice robotu	23
3.2	Konstrukce	23
3.3	Řízení	24
3.4	Současný stav v oblasti strojů s paralelní kinematickou strukturou	24
3.4.1	ABB	24
3.4.2	Fanuc	24
3.5	Uplatnění robotů s paralelní kinematickou strukturou	25
3.5.1	Manipulace	25
3.5.2	Obrábění	25
3.5.3	Simulace	25
3.5.4	Měření	25
4	NÁVRHY PRACOVIŠŤ	27
4.1	Požadavky	27
4.2	Zvolené varianty	28
4.3	Poznámka ke konstrukci	28
5	METODA MULTIKRITERIÁLNÍHO VYHODNOCENÍ	29
5.1	Bázová metoda	29
6	PRVNÍ VARIANTA	31
6.1	Koncept	31
6.2	Konstrukce	32
6.3	Náklady a provoz	32
7	DRUHÁ VARIANTA	35
7.1	Koncept	35
7.2	Konstrukce	36
7.3	Náklady a provoz	36
8	POROVNÁNÍ VARIANT	39
8.1	Funkční a konstrukční hledisko	39
8.2	Ekonomické a energetické hledisko	39
8.3	Metoda multikriteriálního hodnocení	39
9	VYHODNOCENÍ PŘÍNOSU PRACOVIŠTĚ	41
10	ZÁVĚR	43

11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
12	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	47
12.1	Seznam tabulek.....	47
12.2	Seznam obrázků.....	47
12.3	Seznam rovnic	47
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	49

1 ÚVOD

V dnešním technickém světě je pro výrobní firmy, které chtějí uspět, nutností implementovat do výroby roboty nebo ještě lépe celá robotizovaná technologická pracoviště. Typů robotů a pracovišť je celá řada a každý typ má své specifické určení. Tato práce nejprve v rešeršní části obecně popisuje dnešní trendy v oblasti robotizovaných technologických pracovišť. Zde se zabývá výrobním i nevýrobním nasazením robotů. Dále stručně popisuje základní prvky kinematické struktury robotů a ukazuje možnosti jejího využití. Druhá část práce pojednává o návrhu dvou pracovišť, používajících robota s paralelní kinematickou strukturou. Obě pracoviště mají podobnou úlohu, kterou je manipulace menšího výrobku. Liší se v přístupu k řešení zadaného úkolu a rozmístěním jednotlivých prvků na ploše pracoviště. Obě varianty jsou vypracovány včetně výkresové dokumentace. Na závěr je pomocí bázové metody multikriteriálního hodnocení vybrána vhodnější varianta a provedeno vyhodnocení přínosu pracoviště.

2 ROBOTIZOVANÉ TECHNOLOGICKÉ PRACOVISTĚ

Robotické technologické pracoviště (RTP) je pracoviště, využívající k dosažení požadovaného úkolu robota. Tento robot nepracuje jako samostatná jednotka, ale je vhodně zakomponován do celku, obvykle zahrnujícího další stroje, jako obráběcí centra nebo dopravníky.

Ačkoli by se mohlo zdát, že se roboty používají v průmyslu relativně krátce, není tomu tak. První náznaky robotů se nazývaly automaty a sloužily k nahrazení nebo zjednodušení některých funkcí, které zastával člověk. Až v roce 1958 vyvinula americká firma Unimation robota s názvem „průmyslový robot UNIMATE“, který je na obr.1). Tento robot byl základem pro dnes nepoužívanější typy robotů.

Od poloviny 20. století začal rozmach číslíkově řícených strojů, zvaných také NC stroje (NC – numeric counting). Ovšem spolupráce robotů a obráběcích center, jak ji dnes známe, se začala tvořit až na přelomu 20. a 21. století. [1]

2.1 Současný stav RTP

Robotizovaná technologická pracoviště se dnes dají při správném návrhu využít téměř kdekoli. Nejčastější užití je však v průmyslu, kde roboty nahrazují člověka při nebezpečných nebo rutinních činnostech.

2.1.1 Výrobní oblasti

Velkým odvětvím, hojně využívajícím robotická pracoviště, je logistika. Dnes je naprosto běžné, že manipulaci s balíky a paletami zajišťují roboty. Běžné jsou různé inteligentní dopravníkové systémy vybavené senzory nebo automatické paletovací vozíky, pohybující se po předem nadefinovaných trasách bez nutnosti dohledu řidiče.



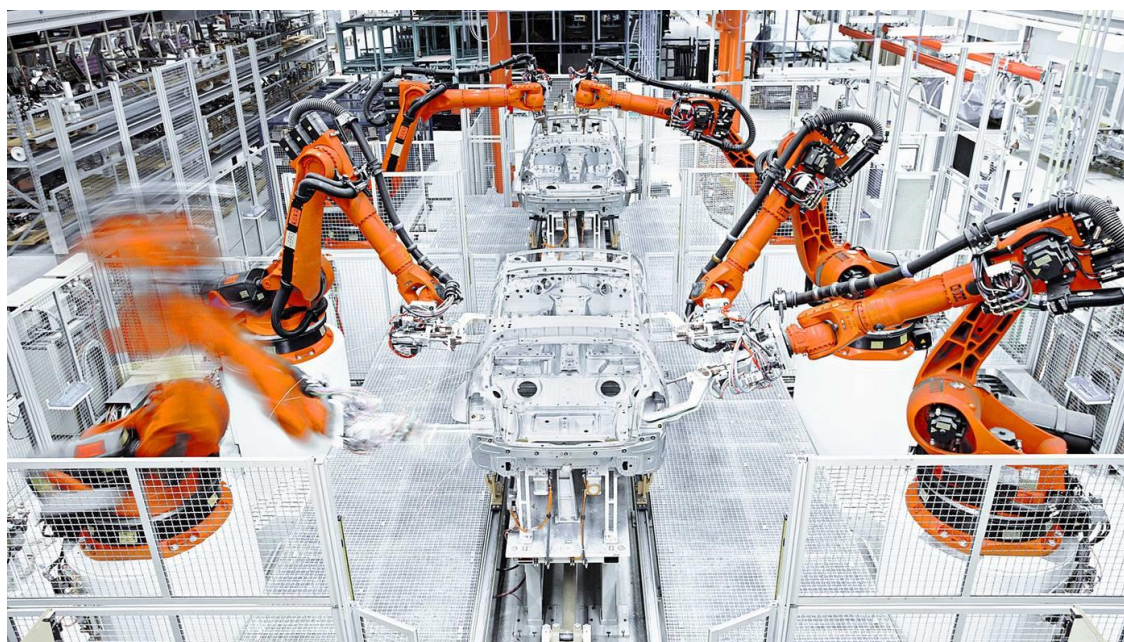
OBR. 1) DOBOVÝ SNÍMEK ROBOTU UNIMATE [10]

Pravděpodobně největší zastoupení však mají robotická pracoviště v automobilovém průmyslu. Využívají se při svařování karoserií (obr.2)), lakování, manipulaci s těžkými díly nebo přesném nanášení lepidel nebo lubrikantům. Na tyto operace se většinou používají průmyslové roboty. Automobilky však využívají i robotická pracoviště bez průmyslových robotů, například při procesu tvorby antikoroze ochrany karoserií.

Ve velkých výrobních závodech jsou roboty a jejich pracoviště často využívány pro kontrolu vyrobených dílů. Robot osazený měřicím zařízením dokáže přesně změřit každý díl a odhalit případné zmetky. Kontrolní stanoviště je většinou implementováno mezi výrobu a balení výrobku a umožňuje tak vytvořit kompletní výrobní linku, do které se na začátku vloží polotovar a na konci vyjede hotový a zabalený výrobek, bez nutnosti zásahu člověka.

Méně časté, avšak velice důležité využití mají roboty také v těžkých a nebezpečných provozech. Manipulační robot může například obsluhovat lis či buchar, nebo nahradit člověka při manipulaci s odlitky ve slévárně. Robot totiž nepotřebuje žádné ochranné pomůcky a v případě nehody může být při menším poškození opraven bez vlivu na jeho funkci. Bohužel vzhledem k faktu, že tyto provozy jsou často v méně rozvinutých zemích, není využití robotických pracovišť v těchto oborech tak rozšířené, jako například v automobilovém průmyslu.

Dále jsou pracoviště vybavená roboty používána ve spoustě výrobních podniků, kde se můžeme setkat jak s celými linkami ve velkých výrobních halách, tak s malým pomocným pracovištěm v menší firmě.



OB. 2) SVAŘOVÁNÍ KAROSERIE AUTOMOBILU [9]

2.1.2 Nevýrobní oblasti

V nevýrobních procesech jsou robotizovaná pracoviště zastoupena výrazně méně než ve velkých výrobních závodech. Je to především z toho důvodu, že robotické pracoviště se nejvíce hodí na opakujiící se proces. Je to dáno především schopností dosáhnout opakovaně přesného výsledku. Každý pohyb a celková souhra všech částí pracoviště se však musí naprogramovat. Pro dosažení žádané přesnosti je navíc potřeba, aby se okolní prostředí, a především poloha cílových bodů, se kterými řídicí systém pracuje, neměnila s časem. Toho je často mimo strojírenství velice těžké dosáhnout.

Proto se zatím robotizovaná pracoviště ve větší míře nepoužívají například ve stavebním průmyslu. To však neznamená, že se s ním zde nemůžeme setkat. Firma Fastbrick Robotics vyvíjí svého robota Hadrian X, kterého můžete vidět na obr.3). Součástí řešení, dodávaného firmou je také výroba speciálních tvárnic, jejichž vytvrzení trvá, díky speciálnímu adhezivu, pouze 45 minut. [2] Dalším způsobem využití automatizace ve stavebnictví je pokládání dlaždic, či tvorba obrubníků. Obrubník se nemusí skládat z jednotlivých kusů, ale může být betonován přímo na místě. Otázkou však je, jestli je toto řešení vhodné pro budoucí opravy v daném místě.

Téměř nezbytná jsou robotizovaná pracoviště pro kosmické programy. Často můžeme na záběrech z mezinárodní vesmírné stanice ISS (International Space Station) vidět různá robotická ramena, manipulující s velkými díly, jejichž usazení vyžaduje naprostou přesnost.

Odvětví, ve kterých se můžeme setkat s roboty je celá řada. Od medicíny, přes vědu, zemědělství, servisní činnost, až po zábavní průmysl.



OB. 3) STAVEBNÍ ROBOT HADRIAN X [11]

2.2 Budoucnost robotizovaných pracovišť

Robotizovaná pracoviště jsou v současnosti na vzestupu. Nic nenasvědčuje tomu, že by se jednalo pouze o trend několika posledních desetiletí. Naopak, automatizace a robotika se bude v budoucnu dostávat i do odvětví, ve kterých si je dnes dokážeme jen těžko představit. Těžko se dá odhadnout, kdy budou které lidské činnosti nahrazeny roboty, dá se však s jistotou říci, že většina jich je k tomu předurčena.

Otázkou však je, jak tyto změny přijmou lidé a zda se nepostaví proti, jako při velké průmyslové revoluci, kdy dělníci ničili nové výrobní stroje. Automatizace, která je právě díky robotům a jejich kolaboraci s ostatními výrobními či dopravními systémy možná, sice představuje ve spoustě odvětvích zrychlení výroby a ulehčení práce lidem, pro určitou skupinu lidí však znamená ztrátu pracovní pozice.

Toto jsou však pouze filozofické úvahy, které se postupem času potvrdí nebo vyvrátí. Jediné, co lze s určitostí říci, že robotizovaná pracoviště mají své místo ve výrobě i dalších odvětvích v budoucnu jisté.

2.3 Známá řešení pracovišť

Řešení jednotlivých typů pracovišť se vždy odvíjí od požadované funkce pracoviště. Někdy je využit pouze jeden robot s přípravkem na upnutí obrobku, jindy je třeba návrh celé linky, zahrnující dopravníkový systém, CNC obráběcí centrum a několik průmyslových robotů. Z tohoto důvodu se nedá mluvit o standardizovaných robotizovaných pracovištích, jelikož se téměř výhradně navrhuje na míru. Existují však typy uspořádání, která jsou využívána častěji. Tato pracoviště se často kombinují a tvoří pak automatizovanou výrobní linku.

2.3.1 Obráběcí pracoviště

Tento typ pracoviště může mít dvě základní podoby. CNC obráběcí centrum s manipulačním průmyslovým robotem, jako na obr.4), nebo obrábění může provádět přímo robot.



OBR. 4) ROBOTIZOVANÉ OBRÁBĚCÍ PRACOVIŠTĚ [12]

2.3.2 Lakovací linka

Lakovací linka se skládá většinou z dopravníkového systému a lakovacích robotů. Součást přijede do lakovny, kde ji robot rovnoměrně nalakuje, většinou metodou práškového lakování. Tento způsob lakování je typický pro automobilový průmysl. Je však velice složité roboty naprogramovat tak, aby nalakovaly všechny plochy složitých dílů, proto je někdy potřeba díly dolakovat ručně. Příklad lakovací linky ukazuje obr.5).

2.3.3 Svařovací pracoviště

Opět pracoviště hojně využívané v automobilovém průmyslu. Konstrukcí je velice podobné lakovací lince. Hlavní rozdíl je v použití svařovacích robotů, nejčastěji s koncovým efektozem uzpůsobeným pro bodové, laserové nebo obloukové svařování. K upnutí svařovaných dílů jsou potřeba nákladné přípravky.

2.3.4 Dopravníková linka a paletizace

Robotizovaná dopravníková linka je dnes běžný jev ve většině logistických i výrobních firmách. Ve výrobě v sobě může mít navíc implementované také kontrolní stanoviště, díky kterému na konci linky vyjede již hotový a zkontrolovaný díl.

Na dopravníkovou linku pak často navazuje paletovací pracoviště. V podstatě pro něj stačí robot na konci dopravníkového pásu a vhodně uspořádání prostoru pro skladování a podávání palet. Paletovací pracoviště je často součástí dopravníkové linky.



OBR. 5) LAKOVACÍ LINKA [13]

3 ROBOTY S PARALELNÍ KINEMATICKOU STRUKTUROU

3.1 Definice robotu

Norma ISO 8373 definuje robot jako:

„Automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více (pohybových) osách, který může být buď pevně upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích.“ [3]

Roboty se obecně dělí na mobilní a stacionární roboty. Mobilní roboty jsou v průmyslu zatím zastoupeni spíše méně. Jedná se především o servisní roboty nebo o přepravní roboty. Daleko častěji se setkáme se stacionárními roboty, které jsou nejčastěji využity v robotizovaných technologických pracovištích a jejich hlavní úlohou je zjednodušit lidem práci a nahradit je na pozicích, kde je vyžadována stále se opakující, monotónní práce. Lidé se pak mohou věnovat složitějším úkolům nebo přidané hodnotě výrobku.

Průmyslové roboty se dále dělí podle struktury na roboty s lineární kinematickou strukturou a paralelní kinematickou strukturou.

3.2 Konstrukce

Robot s PKS se typicky vyznačuje plošinou, na kterou je upnut nástroj nebo předmět, se kterým je potřeba pohybovat. Tyto vzpěry mohou být dvojího druhu.

Prvním a jednodušším řešením jsou tuhé vzpěry. Ty jsou dnes využívány na převážné většině masivně používaných strojů. Vzpěry jsou pak dále upevněny k elektromotorům, které je uvádějí do pohybu. Vše je pak připevněno na pevné, ukotvené konstrukci.

Druhým typem jsou vzpěry s proměnnou délkou vzpěr. Změna délky je možná díky teleskopické konstrukci celého ramene. Pohyb je pak realizován zasouváním a vysouváním pístů jednotlivých ramen. Ramena už tedy nemusí být umístěna na motorech a díky tomu je celá konstrukce méně prostorově náročná. Toto řešení je používáno spíše u takzvaných Triceptů. Tato konstrukce je znázorněna na obr.6).



OBR. 6) ROBOT PKM TRICEPT T606 S PROMĚNNOU DÉLKOU VZPĚŘ [14]

3.3 Řízení

Na rozdíl od robotů s lineární kinematickou strukturou, kde je pohyb realizován pomocí součtu pohybů rotačních, případně posuvných, vazeb, je u robotů s PKS pohyb zajištěn simultánní kontrolou minimálně tří kloubově zavěšených vzpěr. Z tohoto důvodu je robot s PKS mnohem náročnější na softwarové řízení, než robot s klasickou lineární strukturou.

3.4 Současný stav v oblasti strojů s paralelní kinematickou strukturou

Výrobou různých konstrukcí robotů s paralelní kinematikou se zabývá spousta firem. Většinou se však jedná o okrajovou záležitost nebo jednorázový návrh. Dokonce ani jeden z největších výrobců robotů na světě, německá firma KUKA, nemá ve svém portfoliu žádný paralelní robot. Mezi opravdu masivní producenty robotů s touto kinematickou stavbou se řadí především firmy ABB a Fanuc.

3.4.1 ABB

Firma ABB (Assea Brown Boveri) je švédsko-švýcarská firma, vzniklá v roce 1988 spojením švédské firmy ASSEA a švýcarské společnosti Brown, Boveri. Tyto firmy byly založeny již na konci 19. století. Společnost se zdaleka nezaměřuje pouze na robotiku. Kromě výroby průmyslových robotů je známá také v energetice a dalších oborech. Z robotů s paralelní kinematikou ABB v současnosti nabízí pouze robot IRB FlexPicker 360. Jedná se již o druhou generaci tohoto robotu. Robot je nabízen ve více variantách podle užitečného zatížení a dosahu. Schopen je manipulovat s předměty o hmotnosti do 8 kg s dosahem až 1 600 mm. [4]

3.4.2 Fanuc

Společnost Fanuc byla založena 1956. Její zakladatel, Dr. Seiueemon Inaba byl jedním z tvůrců technologie číslicového řízení (NC). Hlavní činností firmy je automatizace a robotika. Paralelní roboty jsou v nabídce firmy označovány jako „delta“ roboty. V současnosti nabízí 3 řady delta robotů, které se dále nabízejí v různých variantách podle únosnosti. Nejnižší řadou je M-1 (obr.7)). Tento manipulační robot je určen pro rychlou manipulaci a zatížení do 1 kg. Střední kategorií je robot M-2. Nejuniverzálnější robot s největší nosnou kapacitou a rozsahem pohybu je pak robot řady M-3. [5]



OBR. 7) FANUC M-1 NA STROJÍRENSKÉM VELETRHU

3.5 Uplatnění robotů s paralelní kinematickou strukturou

3.5.1 Manipulace

Manipulace je pravděpodobně nejčastějším způsobem využití robotů s PKS. Díky své hbitosti jsou schopni rychle a efektivně skládat výrobky sjíždějící z výrobních linek do připravených krabic či přepravních kontejnerů. Při spojení s kamerou a inteligentním řídicím systémem dokonce dokáží v pracovním prostoru vyhledat a přemístit nahodile umístěný předmět. Této možnosti se často využívá v potravinářském průmyslu. Roboty s PKS však mají využití i v automobilovém průmyslu, například při manipulaci s těžkými rámy automobilů. [6]

3.5.2 Obrábění

V této oblasti průmyslu jsou roboty s PKS vzhledem k přesnosti, rychlosti a především propracovanosti dnešních obráběcích center využívány méně často. Když už je robot použit, jedná se většinou o speciální aplikaci, jejíž původní zaměření je jednoúčelové.

3.5.3 Simulace

V dnešní době hrají paralelní kinematické struktury významnou roli při výrobě simulátorů. Na trh dodává simulátory velké množství firem, mezi největší patří: CAE, Frasca, Thomson a v České republice firma Pragolet. Simulátory jsou vyráběny pro civilní sféru od zábavní techniky přes automobilový až po letecký průmysl. Pro armádní účely jsou vyvíjeny tankové a letecké simulátory. Poslední sférou výroby simulátorů je kosmonautika. [6]

3.5.4 Měření

Se zajímavým způsobem využití paralelního robotu přišla firma Renishaw, která zkonstruovala vlastního robota, nesoucího měřicí sondu. Tento robot je schopen velice rychle a přesně zkontrolovat obrobek. Fotografie robota je na obr. 8).



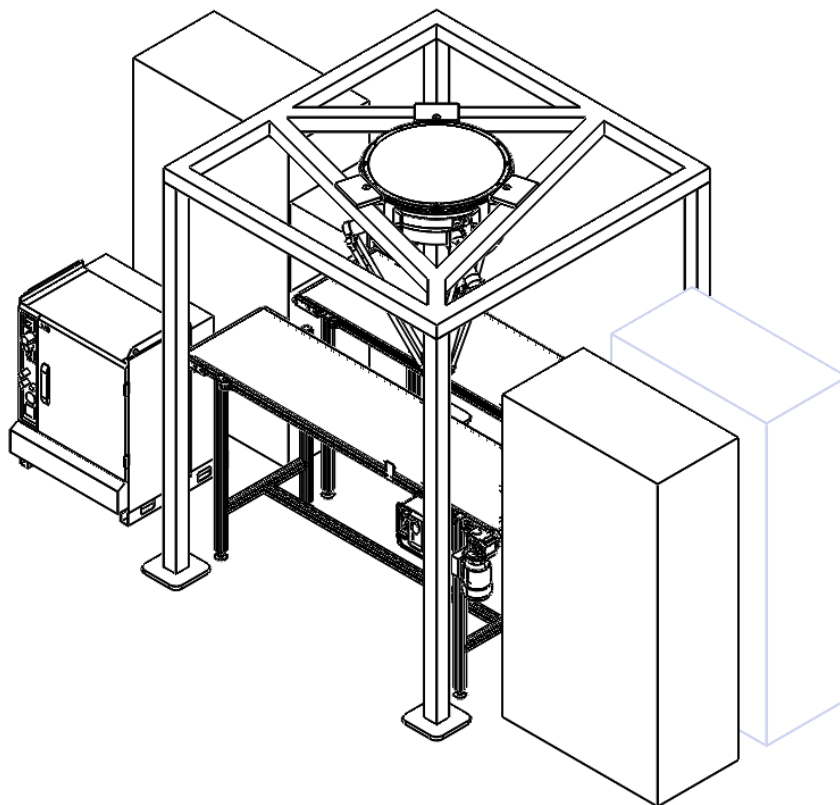
OBR. 8) ROBOT RENISHAW NA STROJÍRENSKÉM VELETRHU

4 NÁVRHY PRACOVÍŠŤ

Již od začátku se počítalo s návrhem dvou pracovišť. Základní myšlenkou bylo vytvořit parametrově velice podobná pracoviště, která by se lišila pouze předmětem manipulace, použitým robotem s paralelní kinematickou strukturou a řídicím systémem, jelikož každý výrobce používá k řízení svých robotů a jejich pohybů vlastní řídicí jednotku. Výsledným poznatkem poté bude určení vhodnosti použití technologického pracoviště s robotem s PKS pro danou činnost a porovnání použitých komponent z ekonomického, energetického a efektivního hlediska.

4.1 Požadavky

Typ pracoviště a použitý robot nebyly v zadání nijak specifikované. Po několika konzultacích jsme se s vedoucím práce nakonec dohodli na zpřesnění zadání. To spočívá především v rozhodnutí použít celé pracoviště na manipulaci s drobným objektem, což je nejčastější použití robotů s paralelní kinematickou strukturou. Dále jsme se dohodli na vypracování půdorysu, bokorysu a v ideálním případě také animace pohybu. Posouzení pracovišť proběhne pomocí multikriteriální (bázové) metody. Posuzovat se bude ekonomická stránka pořízení a provozu pracovišť a energetická náročnost pracovišť. Dále se porovná rychlost a čas provedení pohybu, z čehož vyplyne efektivita daného pracoviště. Tyto parametry se budou odvíjet především od použitého robotu a rozmístěním jednotlivých prvků na ploše pracoviště.



OBR. 9) NÁVRH PRVNÍ VARIANTY

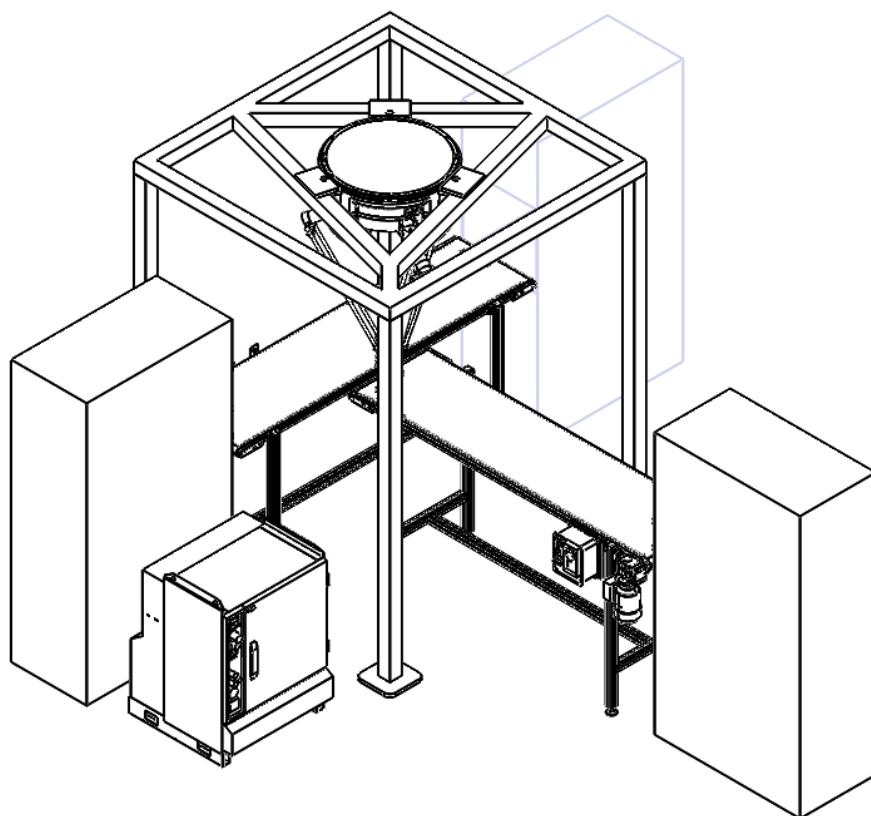
4.2 Zvolené varianty

Po ujasnění základních požadavků pracoviště jsem měl několik návrhů uspořádání a konstrukce. Zvítězila však jedna varianta, která byla jako jediná ve výsledku použitelná. Jedná se o pracoviště se dvěma dopravníky. Na jednom pojede výrobek, který bude vyjíždět z výrobní linky, který bude již orientovaný v potřebném směru.

Z ní pak byla odvozena druhá varianta, která se lišila pouze drobnou změnou uspořádání prvků pracoviště, volbou výrobce robota s PKS, použitým koncovým efektem a předmětem manipulace. Obě varianty jsou na obr. 9) a obr. 10).

4.3 Poznámka ke konstrukci

Pro vytvoření výkresů, 3D modelů byl použit program Solidworks. Vzhledem k faktu, že většina výrobců nedává k dispozici 3D data svých výrobků na vyžádání, ve výkresech a 3D pohledech budou někdy použity 3D modely stažené z veřejně dostupného portálu pro konstruktéry www.grabcad.com nebo vymodelované v programu Solidworks. Namodelované díly by v případě realizace musely být upraveny pro přesné potřeby pracoviště a podle přesných údajů dodavatelských firem. Firmy totiž zcela logicky neposkytují své výrobky a řešení k veřejné publikaci, kterou bakalářská práce je.



OBR. 10) NÁVRH DRUHÉ VARIANTY

5 METODA MULTIKRITERIÁLNÍHO VYHODNOCENÍ

V průmyslové praxi je potřeba technická řešení hodnotit z mnoha hledisek. I když je funkčnost návrhu naprostou nutností, při výběru konečného řešení z více variant se zohledňuje více hledisek, jako jsou pořizovací náklady, energetická náročnost stroje nebo pracoviště a v neposlední řadě také budoucí servis a náklady na údržbu. Z tohoto důvodu vzniklo několik metod multikriteriálního hodnocení. Mezi nejpoužívanější se řadí metoda básová, metoda pořadí nebo metoda PATTERN. V této práci je zadáno použití básové metody.

5.1 Básová metoda

Účelem metody je porovnat několik podobných řešení na základě zvolených hodnocených parametrů. Parametry by měly být podstatné a spolehlivě zjistitelné. Dále by neměly být vzájemně závislé, aby nedošlo ke zkreslení výsledků. Parametry označíme T_1, \dots, T_n a přidělíme jim váhu (důležitost), kterou zastupuje hodnota „ g_n “. Váha každého z rozhodujících faktorů se musí pohybovat v rozmezí:

$$0 \leq g_n \leq 1 [7] \quad \text{ROV. 1)}$$

Dále zvolíme maximální hodnotu každého faktoru „ t_j “ od 1 do 5, kde 1 je velmi slabé a 5 výborné. Jedná se o obdobu klasického školního hodnocení. Hodnocení faktorů je samozřejmě subjektivní, musí však být podloženo zjistitelnými parametry.

Když máme zadány vstupní hodnoty, přistoupíme k samotnému procesu vyhodnocení. Hodnocený parametr si vyjádříme procentuálně:

$$p_\tau = \frac{100}{t_j} [\%] [7] \quad \text{ROV. 2)}$$

$$t_n = \frac{g_n}{p_\tau} * 100 [\%] [7] \quad \text{ROV. 3)}$$

Výsledné hodnocení varianty je pak vyjádřeno hodnotou „ τ “:

$$\tau = \frac{\sum_{n=1}^m (g_n * t_n)}{\sum_{n=1}^m g_n * t_{max}} = \frac{g_1 * t_1 + g_2 * t_2 + \dots + g_m * t_m}{(g_1 + g_2 + \dots + g_m) * t_{jMax}} \leq 1 [7] \quad \text{ROV. 4)}$$

Cílem každého řešení je dosáhnout co nejvyššího čísla „ τ “.

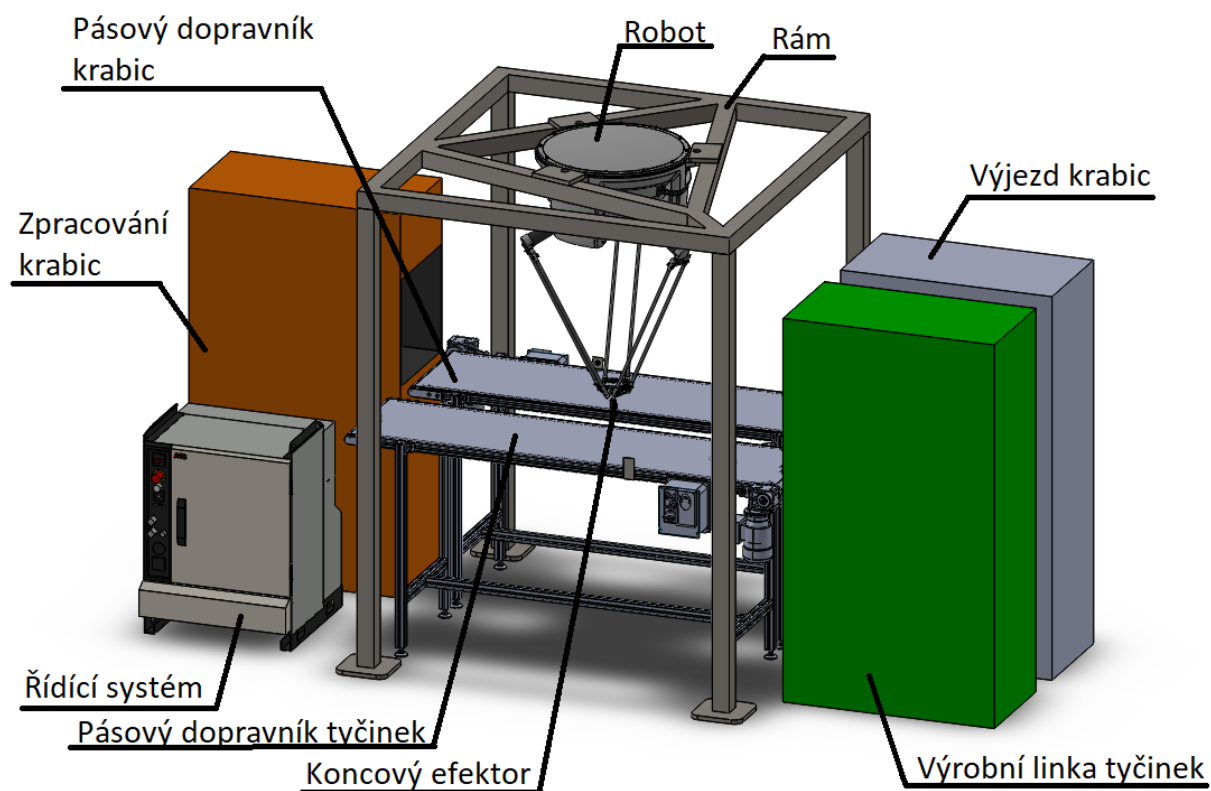
6 PRVNÍ VARIANTA

6.1 Koncept

Jak již bylo řečeno, základním úkolem pracoviště bude manipulace předmětu z pásového dopravníku na druhý.

Jako výrobek byla zvolena müsli tyčinka o rozměrech 100x40x15 mm, kterou bude potřeba skládat do krabice. Tyčinky budou vyjíždět po pěti kusech z výrobní linky. Pro usnadnění uchopení a především ušetření nákladů na techniku již budou tyčinky orientované v požadovaném směru, takže budou vyjíždět v podélném směru zarovnané do řad. Mezery mezi tyčinkami budou vždy o velikosti tyčinky v daném směru (podél dopravníku budou mít tyčinky mezi sebou mezeru velkou jako je délka tyčinky a příčně jako šířka tyčinky). Hmotnost tyčinek je oproti únosnosti jednotlivých prvků pracoviště zanedbatelná.

Tyčinky robot skládá do krabic o rozměrech 110x210x155 mm, které pojedou na druhém dopravníku. Mezery mezi krabicemi budou opět rovny rozměru krabice v daném směru. Stejně jako u tyčinek i krabice budou vyjíždět z výrobní linky. Na obr. 11) je znázorněn 3D model návrhu.



OBR. 11) PRVNÍ VARIANTA PRACOVIŠTĚ

6.2 Konstrukce

Základní jednotkou pracoviště je robot IRB 360 FlexPicker od firmy ABB. Jedná se o jednoho z nejpoužívanějších robotů s paralelní kinematickou strukturou na světě. Vyráběn je v několika variantách s nosností od jednoho do osmi kilogramů a rozsahem 800 mm až 1600 mm. Pro naši aplikaci byla zvolena varianta IRB 360-1/800. Její nosnost je 1 kg, což je více než dostačující jak pro předmět manipulace, tak koncový efektor. Pracovní rozsah (průměr) je pak základních 800 mm. Robot váží 120 kg, ale je možnost zakoupit i verzi z nerezové oceli, která váží 145 kg. V našem případě použijeme obyčejný 120 kg robot, jelikož i tato standardní verze umožňuje omyvatelnost a neomezuje nijak provoz na našem pracovišti. Opakovatelnost pohybu je $\pm 0,1$ mm.

Jako řídicí systém robotu byl zvolen systém IRC5, který slouží k řízení všech robotů ABB. Celá skříň systému má rozměry 970 x 725 x 710 mm, takže nezabere mnoho místa. Hmotnost a celkové schopnosti řídicího systému se odvíjí od potřebných modulů. Jak většina řídicích systémů i IRC5 je možné konfigurovat pro danou aplikaci, což šetří jak náklady tak velikost systému. Jednotka je programována v programovacím jazyku RAPID, který pro své roboty používá firma ABB. Dále lze robota naprogramovat v programu Robot studio. Řídicí systém se pak dá dále napojit například na PLC, řídicí celý výrobní systém. [4]

Dopravníky budou uspořádány vodorovně vedle sebe a budou mít opačný směr chodu. Pro zjednodušení montáže a celkové logistiky při stavbě pracoviště byl pro transport tyčinek i krabic zvolen stejný model dopravníku. Jedná se o pásový dopravník 40 CD od firmy Haberkorn. Délka dopravníku je 2050 mm a šířka pásu 500 mm. Souhrnná šířka dopravníků je trochu větší, než je rozsah robotu. Toto řešení bylo zvoleno úmyslně pro případ potřeby přestavby pracoviště. Součástí dopravníku jsou i senzory dílů pohybujících se po pásu, na výkresu jsou navíc pro názornost uvedeny i v kusovníku.

Koncový efektor byl vybrán z katalogu firmy Schunk. Konkrétně se jedná o vakuové chapadlo GSW-V20-SND030, určené pro manipulaci s plochými součástkami. Pro provoz chapadla stačí pouze přívod stlačeného vzduchu. Hmotnost chapadla je 0,12 kg a je schopno unést předmět o hmotnosti 0,28 kg s tím, že sací síla je 55 N. Samotné chapadlo má průměr 34 mm. [8]

Výrobní linka samotných tyčinek, stejně tak jako stroj na skládání krabic a jejich následné lepení a zpracování není součástí návrhu pracoviště, proto zde nejsou specifikovány. Stejně tak rám pro ukotvení robotu byl navržen nahrubo a neproběhla pevnostní analýza.

6.3 Náklady a provoz

Výpočet nákladů je docela náročný a nepřesný vzhledem k faktu, že se jedná pouze o bakalářskou práci a ne oficiální projekt, který by se dostal do realizace. Prvním problémem je neochota firem poskytování jak samotných dat výrobků, tak především cenových nabídek, které jsou často dělány na míru zákazníkovi. I když jsem psal do všech firem, od kterých jsem vybral použité výrobky, vždy se mi dostalo pouze hrubého náščřelu ceny. Dále je třeba si uvědomit, že některé náklady spojené s údržbou a především servisem se nedají dopředu přesně odhadnout. Jediný způsob, jak těchto odhadů dosáhnout je zkušenost s daným produktem. Náklady na provoz tak budou počítány především ze spotřeby elektrické energie

Robot s řídicím systémem by dle nabídky firmy ABB vyšel na 600 000 Kč. V nabídce jsou již zahrnuty potřebné moduly řídicího systému pro danou aplikaci. Koncový efektor od firmy Schunk pak vyjde na 6 124 Kč bez DPH. Dále každý pásový dopravník od Haberkornu stojí 65 661 Kč. Na závěr nosná konstrukce robota, vypočítaná z ceny jednotlivých profilů, má hodnotu asi 10 000,- Kč. Celkově by tak pracoviště mělo stát přibližně 750 000,- Kč. Veškeré výše uvedené hodnoty přehledně zobrazuje tabulka 1.

Robot Flexpicker v dané konfiguraci má příkon při zapojení do klasické třífázové zásuvky (50/60 Hz) spotřebuje přibližně 0,477 kW a každý z pásových dopravníků asi 0,18 kW. Celkový příkon tedy je 0,837 kW.

TAB 1) Finanční zhodnocení - první varianta

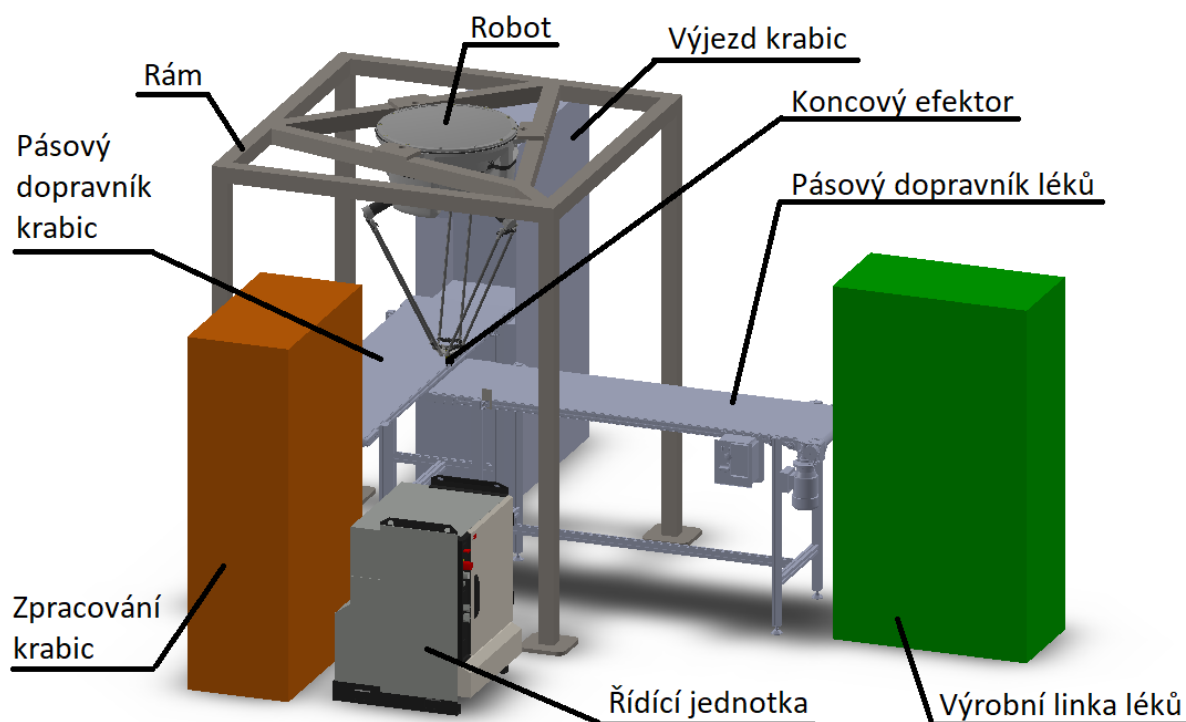
Stroj	Počet kusů	Cena kusu	Cena celkem
Robot + řídicí systém	1	600 000 Kč	600 000 Kč
Koncový efektor	1	6 124 Kč	6 124 Kč
Dopravník	2	65 661 Kč	131 322 Kč
Rám	1	10 000 Kč	10 000 Kč
Celkové náklady			747 446 Kč

7 DRUHÁ VARIANTA

7.1 Koncept

Koncepčně druhá varianta vychází z varianty první. Jelikož, jak již bylo řečeno, je hlavním cílem porovnání vhodnosti použití pracoviště s robotem s PKS pro danou činnost. Z toho důvodu se pracoviště liší především v předmětu manipulace. Tím budou léky o rozměrech 10x4x2 mm. Léky budou stejně jako v první variantě vyjíždět z výrobní linky orientované delší hranou ve směru pohybu. Vzhledem k malým rozměrům jich však může být deset v jedné řadě a mezery mezi jednotlivými léky jsou 50 mm. Mezi jednotlivými řadami pak budou mezery 100 mm. Hmotnost léků je opět zanedbatelná.

Léky se skládají do krabiček na druhém dopravníku. Rozměry krabiček jsou 60x20x10 mm. Krabičky pojedou v jedné řadě s rozestupy 200 mm. Krabičky budou odjíždět z dopravníku otevřené, jejich zavření proběhne v jiném procesu výroby. 3D model návrhu je na obr. 12).



OBR. 12) DRUHÁ VARIANTA PRACOVIŠTĚ

7.2 Konstrukce

Pro porovnání byl vybrán robot od jiné firmy, než v případě prvního pracoviště. Je jím robot M – 2iA/3S od firmy Fanuc. Jedná se o robot ze střední řady nabídky firmy Fanuc, značené M – 2iA. Střední řada byla zvolena z důvodu maximálního pracovního rozsahu, jelikož nejnižší řada (značena M – 1iA) končí s rozsahem na 420 mm, což je méně než je potřeba. Námí vybraná střední řada má rozsah 800 - 1130 mm. Pro naši aplikaci stačí 800 mm. Tento rozsah splňuje základní robot této řady. Váha robotu je 120 kg a jeho užitečné zatížení jsou 3 kg. Robot může opět provádět pohyby ve čtyřech osách a opakovatelnost těchto pohybů je ± 0.1 mm.

Stejně jako firma ABB, tak i Fanuc dodává ke svým robotům svoji řídicí jednotku. Zvolena byla jednotka 30iB, která je kompaktní. Jednotka obsahuje řízení servopohonů, podle potřeby se však musí zvlášť dokoupit moduly mechaniky a kinematiky robotů. Jednotku lze programovat v programu Roboguide nebo pomocí programovacího jazyka Karel, který využívají všechny roboty firmy Fanuc. Dále lze jednotku připojit na PLC, řídicí celý výrobní proces. [5]

Vzhledově největší změnou oproti první variantě pracoviště je uspořádání pásových dopravníků. Oba dopravníky mají opět stejnou délku, šířku a jedná se o stejné typy od stejné firmy, změny se však jejich uspořádání. Nyní budou orientovány kolmo na sebe. Součástí dopravníku jsou opět senzory dílů pohybujících se po pásu, na výkresu jsou opět pro názornost uvedeny i v kusovníku.

Koncový efektor byl zvolen opět od firmy Schunk. Tentokrát se však jedná o klasický gripper s označením MPG-plus 10. Gripper má hmotnost 0,01 kg a maximální doporučená hmotnost obrobku je 0,05 kg. Sevření čelistí je provedeno pneumaticky. Důležitou vlastností je možnost použití ve farmaceutickém průmyslu. [8]

Držák robotu je stejný jako v první variantě. Výrobní linka léků a krabiček opět není součástí návrhu a nebude blíže specifikována.

7.3 Náklady a provoz

Problémy s náklady jsem již popsal u prvního pracoviště. U firmy Fanuc jsem však navíc oproti popsaným nepřesnostem musel počítat i se speciální nabídkou. Obchodní zástupce byl natolik ochotný, že mi sám našel dva roky starého robota a udělal cenovou nabídku přímo na něj a to včetně příslušenství. Vzhledem k tomu, že se jednalo o předváděcího robota a v ceně byla zahrnuta i kompletní repase včetně výměny maziv, byl by pro naši aplikaci více než vhodný. Problém však je, že by pak porovnání s konkurenčním robotem ABB nebylo korektní. Proto jsem si vyžádal i cenu samostatného robotu, nicméně na řídicí systém jsem už další cenovou nabídku nezískal, takže jeho cena nemusí být úplně přesná.

Cenová nabídka na použitého robota činila 11 700 Euro, což při zaokrouhleném kurzu vůči Koruně na 25,5 Kč za Euro činí 298 350 Kč. Dalo by se tedy říct, použitý robot s řídicím systémem se dá pořídit kolem 300 000 Kč. Tento fakt však uvádím spíše pro zajímavost. Nový robot stojí 500 000 Kč. Tato cena zahrnuje i řídicí systém s potřebnými moduly. Dopravníky pak stojí stejně jako u první varianty 65 661 Kč za kus. Koncový efektor Schunk GSW-V 20-SND030 pak vyjde na 8 392 Kč bez DPH. Odhadovaná cena rámu je opět 10 000,- Kč. Celé pracoviště se tedy dá pořídit přibližně za 650 000,- bez periférií. Údaje jsou přehledně zobrazeny v tab. 2.

Robot má příkon 2,5 kW a každý pásový dopravník 0,18 kW. Celkový příkon je tudíž přibližně 2,86 kW.

TAB 2) Finanční zhodnocení - druhá varianta

Stroj	Počet kusů	Cena kusu	Cena celkem
Robot + řídicí systém	1	500 000 Kč	500 000 Kč
Koncový efektor	1	8 392 Kč	8 392 Kč
Dopravník	2	65 661 Kč	131 322 Kč
Rám	1	10 000 Kč	10 000 Kč
Celkové náklady			649 714 Kč

8 POROVNÁNÍ VARIANT

8.1 Funkční a konstrukční hledisko

Z konstrukčního hlediska je hodnocena především prostorová náročnost jednotlivých pracovišť, jelikož složitost konstrukce (myšleno počet použitých komponent) je u obou variant stejná. Obecně se prostorová náročnost těžko posuzuje, jelikož neznáme parametry a rozložení celé výrobní linky. Proto pro různé výrobní linky může být vhodná vždy jiná varianta. V tomto případě se však jeví jako lepší volbou první varianta pracoviště, protože u druhé varianty vzniká volný prostor, který je nevyužitelný. Druhá varianta je ale zase vhodnější v případě změny výrobních linek, jelikož pro tuto změnu poskytuje více prostoru u vstupů a výstupů dopravníků.

Otázkou je, zda byly vhodně zvoleny koncové efektory pro jednotlivé výrobky. Efekторы jsou schopny s výrobky manipulovat, ovšem především v případě manipulace s léky by bylo na místě vyvinout koncový efektor na míru. I u tyčinek by bylo možné navrhnout efektor s více přísavkami, což by zrychlilo práci.

8.2 Ekonomické a energetické hledisko

Vzhledem k faktu, že dopravníky, nosný rám robotu a veškeré periferie jsou pro obě pracoviště stejná, největším rozdílem v pořizovacích nákladech je cena samotného robotu s řídicím systémem. Tady se ukázala lepší nabídka od firmy Fanuc, která byla o 100 000,- Kč nižší než od firmy ABB. Při reálném použití pracoviště v praxi by však nabídky mohly vypadat úplně jinak a především firmy, které odebírají robotů více, by se mohly dostat na nižší částky. Dalším rozdílem je pořizovací cena koncového efektoru, která je však oproti ceně robotu zanedbatelná a činí pouze 2 268,- Kč ve prospěch prvního pracoviště. Stejně tak energetická náročnost vychází výrazně lépe pro první pracoviště.

8.3 Metoda multikriteriálního hodnocení

V našem případě se hodnotí sedm základních kritérií. Jedná se o složitost konstrukce, potřebné místo, upravitelnost pro jiné výrobky, vhodnost koncového efektoru, energetická náročnost, pořizovací náklad a provozní náklady. Hodnocení jednotlivých kritérií pro obě varianty jsou zobrazena v tabulkách 3 a 4, v tabulce 5 jsou zapsány výsledky.

TAB 3) Metoda multikriteriálního hodnocení - první varianta

První varianta						
n	HODNOCENÉ KRITÉRIUM	OZN.	Va			
			t _j	g _n	p _T	t _n
1	Složitost konstrukce	T1	2	0,8	50	1,6
2	Potřebné místo	T2	2	0,8	50	1,6
3	Upravitelnost pro jiné výrobky	T3	4	0,7	25	2,8
4	Vhodnost koncového efektoru	T4	1	0,8	100	0,8
5	Energetická náročnost	T5	2	0,6	50	1,2
6	Pořizovací náklady	T6	3	0,9	33,3	2,7
7	Provozní náklady	T7	2	0,8	50	1,6

TAB 4) Metoda multikriteriálního hodnocení - druhá varianta

Druhá varianta						
n	HODNOCENÉ KRITÉRIUM	OZN.	Va			
			t _j	g _n	p _T	t _n
1	Složitost konstrukce	T1	2	0,8	50	1,6
2	Potřebné místo	T2	4	0,8	25	3,2
3	Upravitelnost pro jiné výrobky	T3	2	0,7	50	1,4
4	Vhodnost koncového efektoru	T4	3	0,8	33,3	2,4
5	Energetická náročnost	T5	3	0,6	33,3	1,8
6	Pořizovací náklady	T6	2	0,9	50	1,8
7	Provozní náklady	T7	2	0,8	50	1,6

TAB 5) Výsledné vyhodnocení

Výsledné vyhodnocení		
První varianta	0,355185185	Vítězná varianta
Druhá varianta	0,397037037	

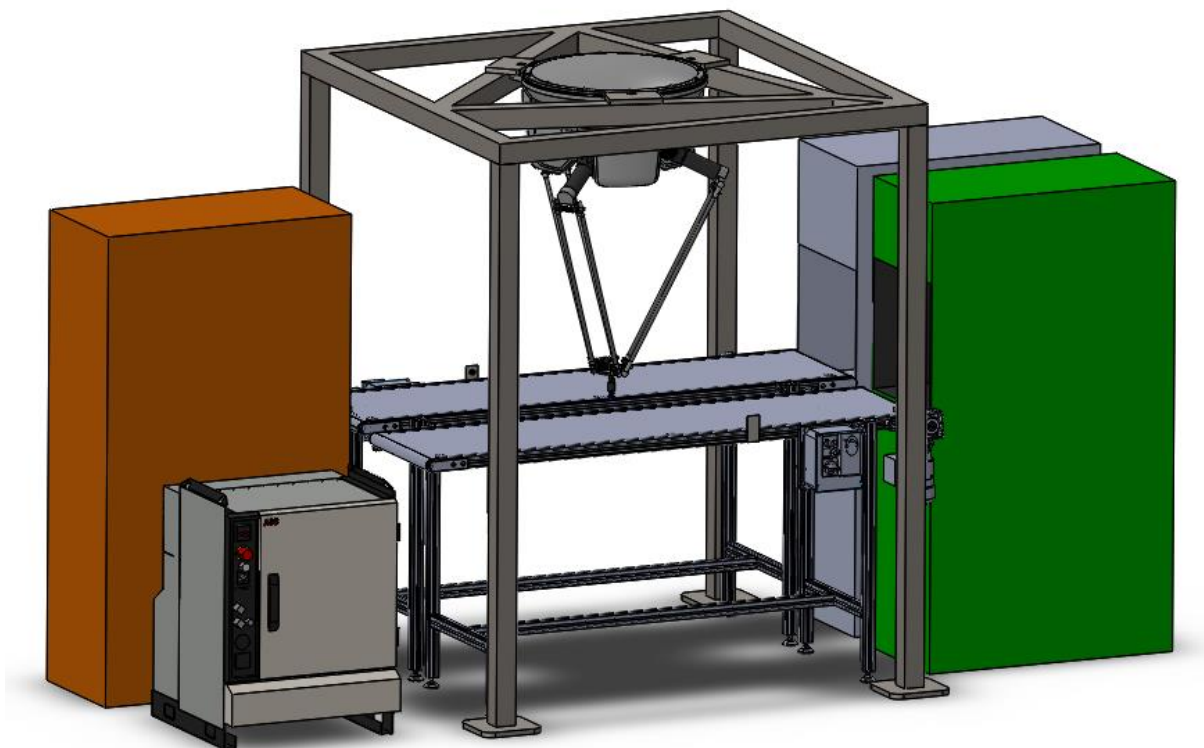
9 VYHODNOCENÍ PŘÍNOSU PRACOVISTĚ

V předchozí kapitole došlo ke zjištění, že první varianta je pro zadané pracoviště vhodnější, i když rozdíl nebyl velký. Nyní je potřeba zjistit, zda se vůbec vyplatí pracoviště pořizovat a jestli by nebylo lepší nechat danou činnost na lidské pracovní síle.

Budeme se bavit o jedno směnném provozu. Předpokládejme, že by zaměstnanec stál firmu 35 000,- Kč měsíčně, což jsou přibližné náklady zaměstnavatele při hrubé mzdě zaměstnance 25 000,- Kč. Jelikož pásové dopravníky a výrobní linky jsou potřeba i v případě lidské obsluhy, ke zjištění návratnosti investic do robotizovaného pracoviště lze brát v úvahu pouze pořizovací náklady na robot, koncový efektor a nosnou konstrukci robotu. To znamená, že se nám celková vstupní investice zmenší na přibližně 620 000,- Kč.

Náklady na energii provozu robotu jsou při ceně 4,3,- Kč za kWh 3,6,-Kč na hodinu provozu. Ve dvousměnném provozu je to tedy 28,8,- Kč za den. Pokud vezmeme průměrný pracovní měsíc jako 23 dní, vyjde nám měsíční energetická náročnost robotu přibližně 662,4,- Kč. Pro zjednodušení hodnotu zaokrouhlíme na 665,- Kč měsíčně. Náklady za energii jsou však pouze hrubě spočteny, jelikož stroj nepracuje stále se stejnou spotřebou energie a také údaje od výrobce nejsou optimalizovány pro danou aplikaci. Pro přehled však postačí.

Rozdíl měsíčních nákladů tedy je 34 335,- Kč. Poté už není těžké spočítat, že nákup robotu se nám na úkor lidské pracovní síly vrátí přibližně po 18 měsících. To znamená, že robot bude sám sebe splácet rok a půl a po této době bude každý měsíc šetřit zhruba 34 335,- Kč. Při více směnném provozu bude robot splacen ještě dříve. Samozřejmě je potřeba počítat se servisem a možnými poruchami, nicméně tyto věci se řeší s výrobcem nebo dodavatelem robotu a mohou být součástí pořizovací ceny.



OBR. 13) VÍTĚZNÁ VARIANTA

10 ZÁVĚR

Roboty a robotizovaná technologická pracoviště jsou stále rozšířenější a důležitější součástí dnešní výroby a zpracování výrobků. Používají se nejenom na samotnou výrobu, ale také na manipulaci s výrobky a jejich následné balení. Budoucí možnosti využití jsou se stále pokročilejšími technologiemi každým rokem větší. Kromě ulehčení od monotónní, stále se opakující práce je dalším přínosem robotizovaných pracovišť i finanční hledisko. Jak dokazuje tato práce, finanční návratnost robotizace výroby či jiných úkonů je poměrně rychlá. Práce se však tématu dotýká pouze okrajově. Ke skutečné realizaci pracoviště nestačí pouze návrh. Je potřeba spolupráce několika firem, od výrobců, přes dodavatele, až po koncového zákazníka, kterým je firma, která pracoviště bude využívat. V procesu realizace je potřeba vypracovat návrh, zkonstruovat jednotlivé díly, které je potřeba vyrobit na míru, vytvořit program řízení robotu a dalších periferií a především vše dát dohromady a vyladit případné nedostatky.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 stran : ilustrace (převážně barevné), portréty. ISBN 9788021448285.
- [2] *FBR: Hadrian X* [online]. FBR, b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.fbr.com.au/>
- [3] ČSN EN ISO 8373. *Manipulační průmyslové roboty - Slovník*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [4] *ABB* [online]. ABB, b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://new.abb.com/>
- [5] *Fanuc* [online]. Fanuc, b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs>
- [6] ŠABART, Adam. *Paralelní kinematické struktury průmyslových robotů* [online]. Brno, 2015 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/39383>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.
- [7] SOJÁK, Vojtěch. *Konstrukce dvouosého manipulátoru*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2015.
- [8] *Schunk* [online]. Schunk, b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/domovska-stranka/
- [9] *Kuka* [online]. Kuka, b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz>
- [10] *Banyanhill* [online]. Banyanhill, b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.banyanhill.com/automation-rise-robots/>
- [11] Stockhead. *Hadrian X* [online]. Stockhead, b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://stockhead.com.au/tech/caterpillar-has-taken-a-new-option-in-australias-one-armed-bricklaying-robot/>
- [12] *Mertensplastique* [online]. Mertensplastique, b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.mertensplastique.be/savoir-faire/usinage>
- [13] *Elektrika* [online]. Elektrika, b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/lapp-nove-v-nabidce-kabely-pro-roboty>
- [14] Tricept. *Pkmtricept.com* [online]. b.r. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://www.pkmtricept.com/productos/index.php?id=en&Nproduct=1240238156>

12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

RTP	Robotizované technologické pracoviště
PKS	Paralelní kinematická struktura
NC	Numeric counting
CNC	Computer numeric counting
m	metr
mm	milimetr
Kč	Korun českých
kWh	Kilowatt hodina
Tn	Označení faktoru
g_n	Váha faktoru
t_j	Hodnota faktoru

12.1 Seznam tabulek

TAB 1) FINANČNÍ ZHODNOCENÍ - PRVNÍ VARIANTA.....	33
TAB 2) FINANČNÍ ZHODNOCENÍ - DRUHÁ VARIANTA.....	37
TAB 3) METODA MULTIKRITERIÁLNÍHO HODNOCENÍ - PRVNÍ VARIANTA.....	40
TAB 4) METODA MULTIKRITERIÁLNÍHO HODNOCENÍ - DRUHÁ VARIANTA.....	40
TAB 5) VÝSLEDNÉ VYHODNOCENÍ	40

12.2 Seznam obrázků

OBR. 1) DOBOVÝ SNÍMEK ROBOTU UNIMATE	17
OBR. 2) SVAŘOVÁNÍ KAROSERIE AUTOMOBILU	18
OBR. 3) STAVEBNÍ ROBOT HADRIAN X	19
OBR. 4) ROBOTIZOVANÉ OBRÁBĚCÍ PRACOVIŠTĚ	20
OBR. 5) LAKOVACÍ LINKA [13].....	21
OBR. 6) ROBOT PKM TRICEPT T606 S PROMĚNNOU DÉLKOU VZPĚR.....	23
OBR. 7) FANUC M-1 NA STROJÍRENSKÉM VELETRHU	24
OBR. 8) ROBOT RENISHAW NA STROJÍRENSKÉM VELETRHU.....	25
OBR. 9) NÁVRH PRVNÍ VARIANTY	27
OBR. 10) NÁVRH DRUHÉ VARIANTY	28
OBR. 11) PRVNÍ VARIANTA PRACOVIŠTĚ	31
OBR. 12) DRUHÁ VARIANTA PRACOVIŠTĚ	35
OBR. 13) VÍTĚZNÁ VARIANTA	41

12.3 Seznam rovnic

ROV. 1)	29
ROV. 2)	29
ROV. 3)	29
ROV. 4).....	29

13 SEZNAM PŘÍLOH

PDF – výkres první varianty pracoviště

PDF – výkres druhé varianty pracoviště